



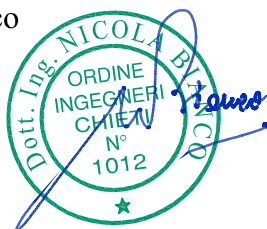
Sede operativa: S.P. Pedemontana - Loc. "Cerratina" Lanciano (CH)
Sede legale: Via Arco della Posta - Lanciano (CH)

COMPLESSO I.P.P.C. DISCARICA CONSORTILE IN LOCALITA' "CERRATINA" DI LANCIANO (CH) Provvedimento AIA n. 127/48 del 30/06/2009 e s.m.i.

RELAZIONE GEOLOGICA ED IDROGEOLOGICA

Progettazione:

Ing. N. Bianco



DECO S.p.A Via Salara 14 bis
66020 S.Giovanni Teatino (CH)



Rev.	Data	Descrizione	Responsabile di progetto	Elaborazione	Direttore tecnico
0	Ottobre 2019	Emissione	NIB	ROL	NIB
1					
2					
3					



CONSORZIO SERVIZI ECOLOGICI
DEL FRENTANO - LANCIANO (CH)



Elaborato: **A.4**

Scala: -:-

Commessa: 302-2



Sede operativa: S.P. Pedemontana - Loc. "Cerratina" Lanciano (CH)
Sede legale: Via Arco della Posta - Lanciano (CH)

DISCARICA CONSORTILE IN LOCALITA' "CERRATINA" DI LANCIANO (CH)

Variante sostanziale al profilo di chiusura finale

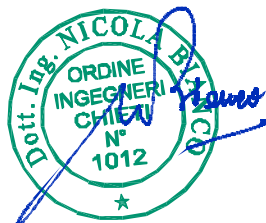
RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA

Progettazione:

Ing. N. Bianco

Ing. A. Vincenti

Geol. R. Sacco



DECO S.p.A Via Salara 14 bis
66020 S. Giovanni Teatino (CH)



Rev.	Data	Descrizione	Responsabile di progetto	Elaborazione	Direttore tecnico
0	Settembre 2015	Emissione	NIB	Consulente	NIB
1					
2					
3					



**CONSORZIO SERVIZI ECOLOGICI
DEL FRENTANO - LANCIANO (CH)**



Elaborato: **A.2**

Commessa: **302-2**

Sommario

CAP. 1 RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E SISMICA 2

1.1 INTRODUZIONE	2
1.2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL' AREA E UBICAZIONE INDAGINI.....	6
1.3 MODELLO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO	9
1.3.1 <i>Geologia Locale sito discarica</i>	12
1.3.2 <i>rispondenza PAI e psda</i>	16
1.4 MODELLO IDROGEOLOGICO	17
1.4.1 <i>PIANA ALLUVIONALE DEL SANGRO</i>	17
1.4.2 <i>DEPOSITI COLLINARI</i>	19
1.4.3 <i>TERRAZZI ALLUVIONALI</i>	19
1.5 AZIONE SISMICA	24
1.5.1 <i>Prospezione sismica MASW</i>	29
1.5.2 <i>Acquisizione ed interpretazione dei dati</i>	31
1.5.3 <i>Definizione dell'azione sismica del substrato della discarica</i>	38
1.6 STIMA DELLE CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI DEPOSITI.....	40
1.7 CONCLUSIONI.....	43

CAP. 1 RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E SISMICA

1.1 INTRODUZIONE

In seguito all'incarico conferitomi dalla DITTA ECOLOGICA SANGRO SPA nell'ambito del progetto di “variante sostanziale al profilo di chiusura finale della discarica”, ubicata in località Cerratina di Lanciano, lo scrivente, ha redatto la presente relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica, di compendio degli studi esistenti sul sito.

La discarica consortile di Cerratina è uno dei più grandi impianti di smaltimento rifiuti della regione Abruzzo; i lavori per la realizzazione dell'impianto sono iniziati nel gennaio del 1995, l'effettiva entrata in funzione risale a luglio dello stesso anno. Si tratta di una discarica controllata di prima categoria per lo smaltimento di rifiuti solidi urbani (RSU).

La discarica è realizzata su di una superficie sub-pianeggiante che, in passato, è stata interessata da attività di estrazione di ghiaie e sabbie fino al raggiungimento delle argille grigio-azzurre che costituiscono il substrato impermeabile. Pertanto, la discarica risulta ammorsata nel substrato impermeabile al di sopra del quale sono presenti i depositi

riferibili al terrazzo alluvionale di III ordine.

Nell'area circostante la discarica sono presenti depositi ghiaiosi e sabbiosi di natura alluvionale; per questo motivo tale zona è stata oggetto di un intensa attività di cava che ha portato ad una sostanziale modificazione del paesaggio.

Lo studio ha trattato i seguenti punti:

- Sopralluogo durante il quale si è proceduto alla verifica dello stato dei luoghi;
- Ricerca bibliografica, diretta in modo particolare al reperimento di materiale cartografico relativo a studi ed indagini precedenti sull'area e dintorni;
- Realizzazione indagine sismica consistita in uno stendimento di tipo MASW per la caratterizzazione delle velocità Vs all'interno dell'ammasso dei rifiuti;
- Redazione della presente relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica.

La documentazione geologica, geomorfologica e idrogeologica, utilizzata per la stesura della presente relazione in possesso della ditta

risulta costituita da:

1. Studi geologici, geomorfologici e idrogeologici:
 - Geolab, 1993 - progetto di fattibilità di una discarica di I° categoria (RSU) da realizzarsi in località Cerratina nel Comune di Lanciano;
 - Dott. R. Sacco, settembre 2003 – verifica della compatibilità dell'impianto sulla base di criteri di carattere ambientale e territoriale, derivanti dalla nuova normativa sulle discariche – D. Lgs. 36/2003;
 - Dott. R. Sacco, luglio-agosto 2006 – modello idrogeologico dell'area "discarica consortile". Ecologica Sangro;
 - Dott. R. Sacco, agosto 2006 – modello idrogeologico dell'area "discarica consortile": integrazione e delucidazioni relative alla relazione di luglio 2006. Ecologica Sangro;
 - Dott. R. Sacco, gennaio 2008 – relazione geologica-idrogeologica sulle indagini dirette. Ecologica Sangro.
 - Dott. R. Sacco, Dott. Geol. D. Caramanico, Ing. N. Bianco & Ing. A. Vincenti, dicembre 2010 - piano di caratterizzazione della discarica RSU. Ecologica Sangro.

- Dott. R. Sacco, Dott. Geol. D. Caramanico, Ing. N. Bianco & Ing. A. Vincenti, settembre 2011 - attuazione piano di caratterizzazione della discarica RSU. Ecologica Sangro.
- Dott. R. Sacco & Ing. N. Bianco, ottobre 2012 – progetto definitivo messa in sicurezza operativa – bonifica sito discarica. Ecologica Sangro.

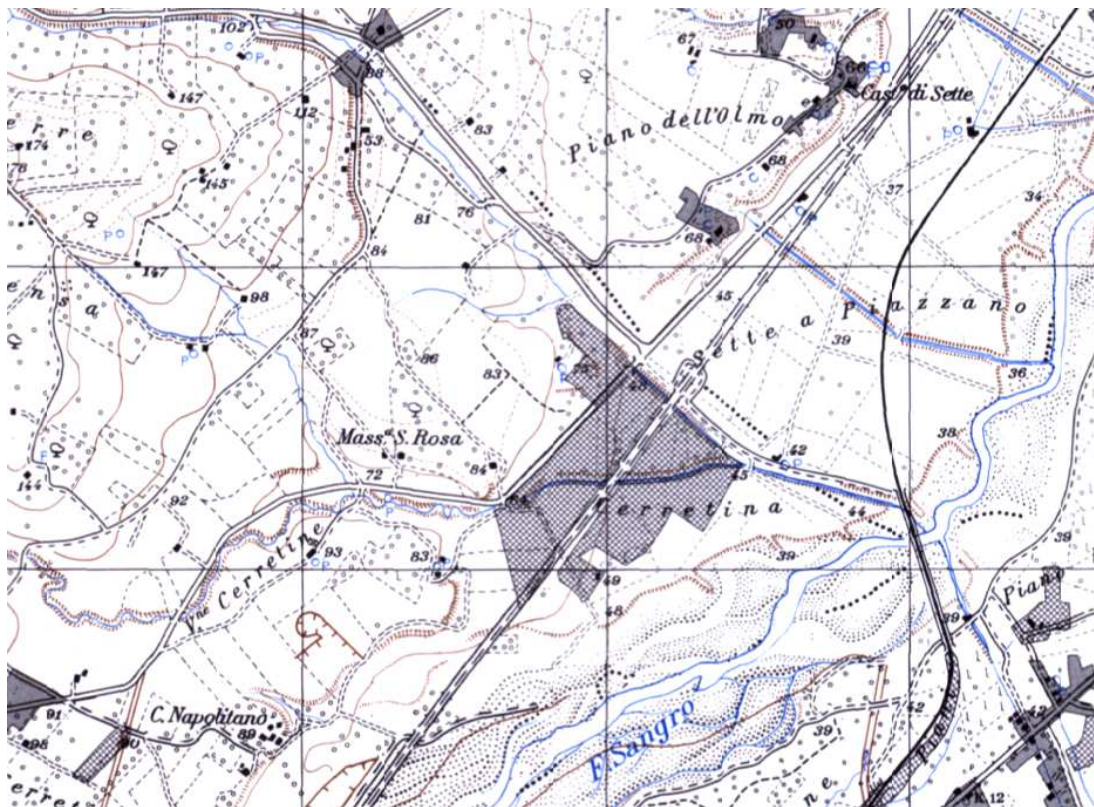
2. Indagine dirette ed indirette:

- realizzazione (giugno/luglio 2006) di n° 13 sondaggi a rotazione attrezzati a piezometri a tubo aperto denominati NP1 – NP2 – NP3 – NP4 – NP5 – NP6 – NP7 – NP8 – NP9 – NP10 – NP11 – NP12 – NP13;
- realizzazione di n° 6 prove in situ di permeabilità - le Franc a carico variabile nei piezometri NP2, NP5, NP6, NP11, NP12, NP13;
- indagini geofisiche: 4 stendimenti di tomografia elettrica;
- realizzazione (gennaio 2008) di un sondaggio a carotaggio continuo attrezzato a piezometro a tubo aperto denominato NP1bis.

- realizzazione (settembre-ottobre 2011) di n. 11 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo attrezzati a piezometro, n. 7 trincee esplorative, n. 3 tomografie elettriche, n. 3 indagini con il metodo della palla di sale, n. 2 pozzi
- realizzazione (maggio-agosto 2013) di n. 2 barriere idrauliche con n. 16 pozzi

1.2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA E UBICAZIONE INDAGINI

Il sito oggetto di intervento si trova nel comune di Lanciano, in località Cerratina. L'area è rappresentata nel foglio 371, tavola OVEST della carta topografica della Regione Abruzzo, in scala 1 :25.000 (Fig. 1).



Di seguito un'immagine dall'alto della discarica.



1.3 MODELLO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO

Le principali caratteristiche geologiche dell'area di studio sono rappresentate nel foglio 147 "Lanciano" della carta geologica d'Italia alla scala 1 :100.000.

La zona in esame è caratterizzata da un substrato di origine marina di età Plio-Pleistocenica costituito alla base da depositi argilloso-sabbiosi che nella parte alta della formazione passano a sabbie e conglomerati. I depositi presenti alla base, ovvero quelli più antichi, sono rappresentati dalle argille grigio-azzurre che si presentano in assetto massivo, prive di evidenti segni di stratificazione e molto compatte. Proseguendo verso l'alto si nota un progressivo aumento della frazione sabbiosa fino al passaggio definitivo con le sovrastanti sabbie. A chiusura del ciclo sedimentario si rilevano breccie e conglomerati di natura calcarea che rappresentano la parte superiore della formazione marina.

Al di sopra di tale sub-strato sono presenti depositi continentali quaternari costituiti in prevalenza dalle alluvioni terrazzate del fiume Sangro. Nell'area sono presenti quattro ordini di terrazzo alluvionale (t1, t2, t3, t4) ad altezze che vanno da 280 fino a circa 30 m. s.l.m. Questi depositi sono posizionati, prevalentemente, in sinistra idrografica, dove

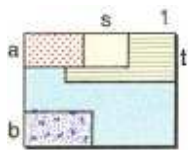
raggiungono i massimi spessori, mentre in destra, dove gli spessori raggiunti sono più esigui, sono presenti solo i terrazzi più recenti. I depositi alluvionali più antichi sono costituiti da depositi ghiaioso-sabbiosi con intercalazioni di lenti limoso-argillose; nella parte bassa della valle, sia in sinistra che in destra idrografica del fiume Sangro, i terrazzi alluvionali sono costituiti da depositi limoso-sabbiosi ed argillosi.

L'area di interesse si colloca all'interno della vallata del fiume Sangro, sul versante posto in sinistra idrografica del fiume stesso. Morfologicamente l'area si presenta come una valle fortemente asimmetrica orientata in direzione SW / NE. Il versante in destra idrografica del fiume Sangro è caratterizzato da acclività uniforme ed una morfologia articolata, tradotta dall'azione erosiva delle acque superficiali sui versanti; quello in sinistra, invece, è caratterizzato da una morfologia più regolare, definita da un susseguirsi di vaste spianate e nette scarpate. Le aree meno rilevate sono localizzate sul fondovalle del fiume Sangro, al contrario quelle maggiori, sono localizzate in corrispondenza degli spartiacque che delimitano la valle; qui le quote vanno da circa 300 m nel settore occidentale, fino a circa 100 m in corrispondenza dei rilievi più prossimi alla linea di costa.

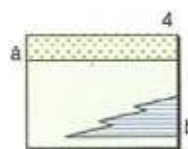
Il versante sul quale è ubicata la discarica è caratterizzato da ampie fasce pianeggianti che rappresentano la superficie degli antichi terrazzi alluvionali. Le aree pianeggianti sono interrotte da scarpate che procedendo verso la parte alta del versante si fanno sempre meno nette.

La discarica è situata su un area sub pianeggiante posta ad una quota di 75 m. s.l.m. degradante verso SE fino a 70 m. s.l.m. Questa ultima è delimitata, a valle, dalla scarpata di erosione fluviale che borda il terrazzo alluvionale di III° ordine, ad W ed ad E, rispettivamente, dal fosso Serre e dal fosso dell'Olmo.

Viene riportato di seguito uno stralcio della carta geologica d'Abruzzo in scala 1:100.000, realizzata da F. Ghisetti e L. Vezzani nel 1998.



Depositi lacustri argilloso-limoso-sabbiosi; depositi fluviali e fluvio-glaciali prevalentemente ghiaioso-sabbiosi; travertini (1). Depositi sabbiosi delle piane costiere (s). Depositi alluvionali terrazzati (t). Detriti di falda e coperture detritico-colluviali; depositi residuali; terre rosse (a). Sedimenti morenici (b). *Olocene - Pleistocene superiore.*



Successione del Pleistocene inferiore p.p.-Pliocene superiore. Prevalenti peliti di piattaforma passanti verso l'alto a sabbie e conglomerati con facies da litorali a fluvio-deltizie a continentali (a, Vasto, Casalbordino, Chieti, Atri, Tortoreto, Colonnella). Alcune decine di metri sopra la base sono presenti 80-100 m di conglomerati e calcareniti organogene (b, **Conglomerati di Turrivalignani**), e lenti di sabbie gialle in *onlap* sulle formazioni sottostanti (San Marco a Nord di Ateessa). Zone a *Hyalinea balthica* e a *G. inflata*. Spessore: > 1500 m. *Pleistocene inferiore p.p. - Pleistocene superiore.*

1.3.1 GEOLOGIA LOCALE SITO DISCARICA

La realizzazione dell'impianto di smaltimento rifiuti ha richiesto l'esecuzione di numerose indagini che nel corso degli anni hanno implementato le conoscenze sull'assetto geologico stratigrafico dell'area (oltre a conoscenze idrogeologiche).

Le prime indagini risalgono al 1993, la ditta Geolab conduce uno studio di fattibilità per la realizzazione della discarica. Questo studio aveva previsto la realizzazione di alcuni sondaggi geognostici e piezometri.

Nel estate 2006, nell'ambito della relazione "Modello idrogeologico dell'area discarica consortile" il Dot. Sacco ha effettuato una campagna di sondaggi geognostici mirata a definire il modello idrogeologico dell'area. La campagna di indagini, aveva previsto la realizzazione di n° 13 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo, integrati nel 2011 con altri n. 11 sondaggi realizzati nell'ambito dell'attuazione del piano di caratterizzazione.

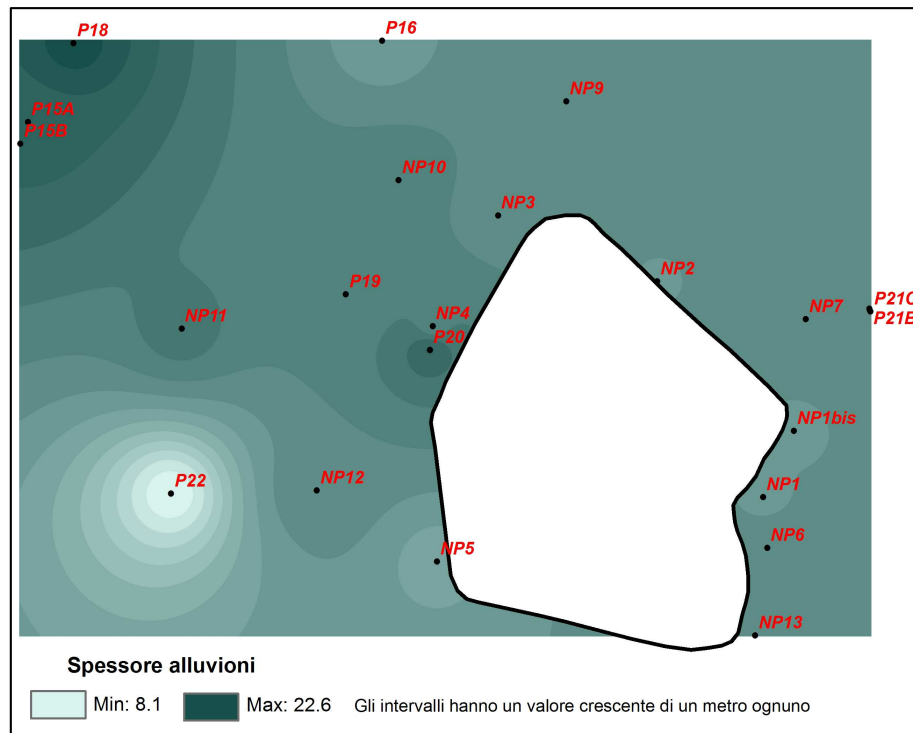
I sondaggi hanno permesso di ricostruire nel dettaglio la stratigrafia caratteristica del sito e di definire con esattezza lo spessore delle diverse unità distinte.

Le indagini hanno evidenziato la presenza di un substrato argilloso posto alla profondità di circa 16/17 metri (quota originaria esternamente al perimetro della discarica), al di sopra del quale sono presenti depositi alluvionali costituiti nella parte bassa da ghiaie in matrice sabbioso-limosa e nella parte alta da limi sabbiosi con presenza di lenti e/o livelli

con prevalente componente argillosa.

Lo spessore dei depositi ghiaiosi si aggira sempre intorno ai 9/10 metri, mentre lo spessore delle alluvioni limose è generalmente di 6/7 metri. Si riporta di seguito una foto della sequenza stratigrafica rilevata nell'area ed un immagine con lo spessore delle alluvioni ricostruito in seguito alle indagini svolte fino al 2012.





In particolare la successione stratigrafica affiorante nell'area esternamente al perimetro della discarica risulta costituito da:

- **LIMO ARGILLOSO - UNITA' A**

Costituito da limo argilloso grigio – avana con presenza di frustoli carboniosi, da mediamente consistente a consistente.

- **STRATO GHIAIOSO - UNITA' B**

Ghiaia calcarea eterometrica da mediamente a molto cementata con

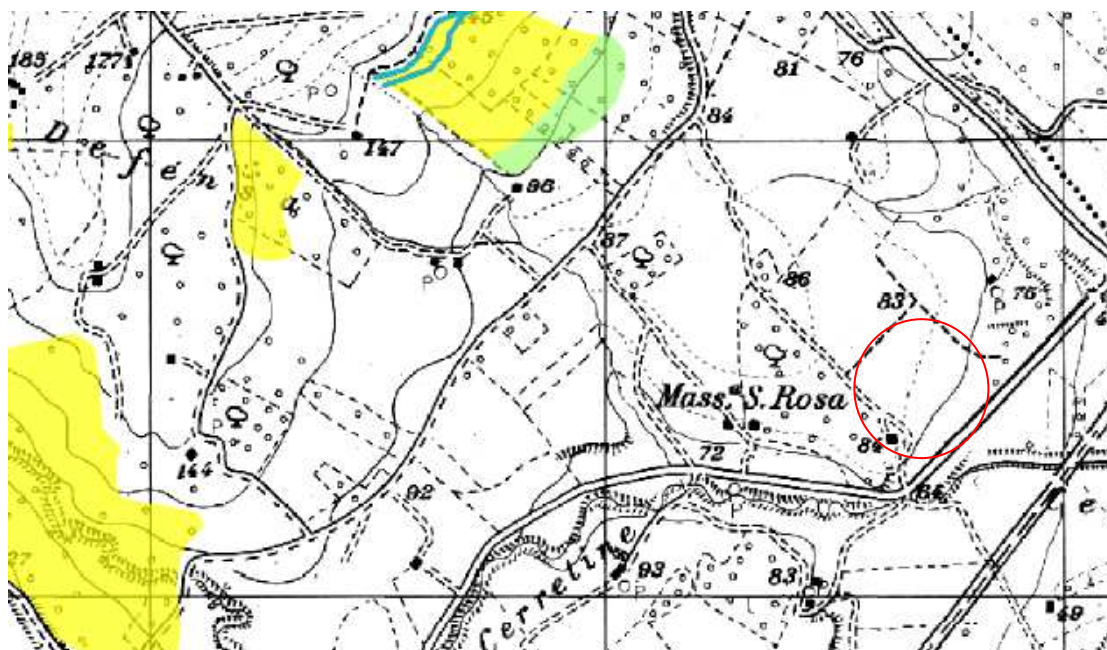
clasti da centimetraci a decimetrici arrotondati e in matrice sabbiosa.

- **ARGILLE GRIGIO-AZZURRE - UNITA' C**

Argille grigio azzurre molto consistenti.

1.3.2 RISPONDENZA PAI E PSDA

In base a quanto pubblicato sul B.U.R.A. n. 12 speciale del 1 febbraio 2008, la zona non risulta perimetrata come area a pericolosità P1, P2 e P3 e Pscarpata. Si riporta di seguito la carta della pericolosità con l'ubicazione dell'area in studio, inoltre non viene interessato dal piano stralcio difesa alluvioni.



1.4 MODELLO IDROGEOLOGICO

1.4.1 PIANA ALLUVIONALE DEL SANGRO

La piana alluvionale del Sangro si estende da Sud-Ovest a Nord-Est, limitata da contrafforti collinari costituiti da argille, sabbie argillose, sabbie e conglomerati del plio-pleistocene. La pianura è sede di un sistema acquifero di origine alluvionale che in alcuni casi viene sfruttato da pozzi industriali.

La valle del Sangro è contraddistinta da un acquifero sostanzialmente monostrato e caratterizzato dalla presenza di una falda freatica, anche se lenti limoso-argillose, soprattutto in prossimità della costa e in destra idrografica, determinano fenomeni di semiconfinamento. [DE RISO et ali, 1984].

Il deflusso idrico sotterraneo, fortemente influenzato dalla presenza di paleoalvei, è principalmente diretto dai limiti dell'area alluvionale verso il corso d'acqua principale. La configurazione della superficie piezometrica è determinata dalla morfologia del substrato, dall'entità dell'alimentazione e dai prelievi nei diversi periodi dell'anno, con rapporti idraulici pertanto variabili. Il principale asse di drenaggio, nella parte medio alta della pianura, decorre prevalentemente in destra

idrografica del fiume Sangro, poi in sinistra idrografica, per la presenza di un evidente spartiacque sotterraneo.

Dal controllo piezometrico eseguito su pozzi/piezometri nella zona industriale di Lanciano Sud (destra torrente Cerratina) censiti, risulta che la falda (nelle alluvioni recenti) si trova a circa 16/17 metri di profondità dal piano campagna attuale: 55 m. sl.m.. Le alluvioni (da sondaggi e affioramenti litologici in aree di cava) a Sud del sito presentano uno spessore massimo di circa 18/20 m e contengono un probabile acquifero superiore A1 da freatico a semiconfinato, e un acquifero inferiore A2 confinato.

Le oscillazioni piezometriche sono legate alla distribuzione e alla entità delle precipitazioni, alle caratteristiche idrodinamiche dei depositi alluvionali e di copertura, alla ricarica dovuta alla infiltrazione delle acque dei corsi idrici superficiali, ai sistemi di irrigazione e agli emungimenti [DESIDERIO, RUSI & TATANGELO, 2008]. Le argille limose grigio-azzurre rappresentano il substrato del materasso alluvionale ed il limite inferiore dell'acquifero alluvionale.

1.4.2 DEPOSITI COLLINARI

Il versante della località “Cerratina-Colle D’ortona-Serre” è costituito da terreni argillosi (argille bruno-avana e grigie); essi presentano una bassa permeabilità primaria per cui le acque di precipitazione non penetrano nel sottosuolo con facilità, esse infatti defluiscono soprattutto in superficie dando luogo ai vari fossi: Dell’Olmo, Serre, Camicia, Cerratina che confluiscono nel fiume Sangro con pattern di tipo “dendritico”.

1.4.3 TERRAZZI ALLUVIONALI

Il complesso idrogeologico che caratterizza il sito della discarica è rappresentato dai depositi alluvionali terrazzati del fiume Sangro. Tale complesso è costituito al tetto, da limi argillosi (**Unità A**) che rappresentano l'**acquitardo**, l'**acquifero** vero e proprio è rappresentato dalle ghiaie (**Unità B**), mentre le argille grigio azzurre (**Unità C**) rappresentano l'**acquiclude**.

L’unità A (acquitardo) rappresenta un’unità scarsamente permeabile per porosità primaria e si trova sempre a copertura delle ghiaie, **limitando l’infiltrazione delle acque meteoriche verso la sottostante formazione ghiaiosa**; l’unità B (acquifero) rappresenta un’unità

abbastanza permeabile per porosità primaria.

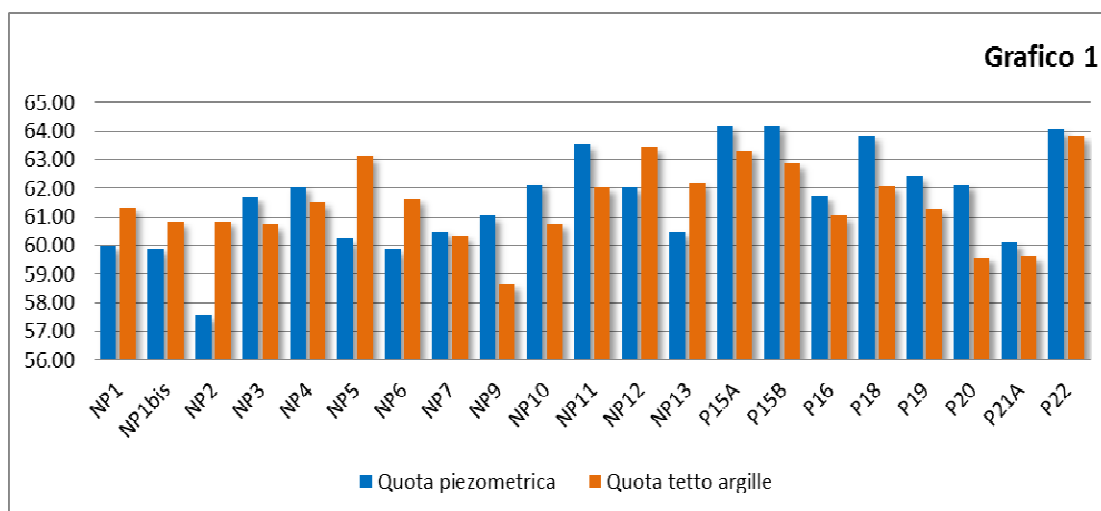
L'unità C (acquiclide) costituisce il substrato geologico praticamente impermeabile.

Nell'acquifero si rileva la presenza di acqua sotterranea la cui alimentazione è ad opera delle precipitazioni e del ruscellamento delle acque superficiali. Laddove presente, le oscillazioni piezometriche della falda, sono influenzate dal regime delle precipitazioni, dalle caratteristiche idrodinamiche dei depositi alluvionali, dagli emungimenti, dalle irrigazioni e dalla morfologia del versante, che influenza il tasso di infiltrazione delle acque superficiali.

Per definire i parametri idrodinamici dell'aquitardo ed acquifero sono state eseguite alcune prove in sito, finalizzate alla valutazione del coefficiente di permeabilità (k), mentre per le argille la permeabilità è stata determinata attraverso le prove di permeabilità eseguite in laboratorio.

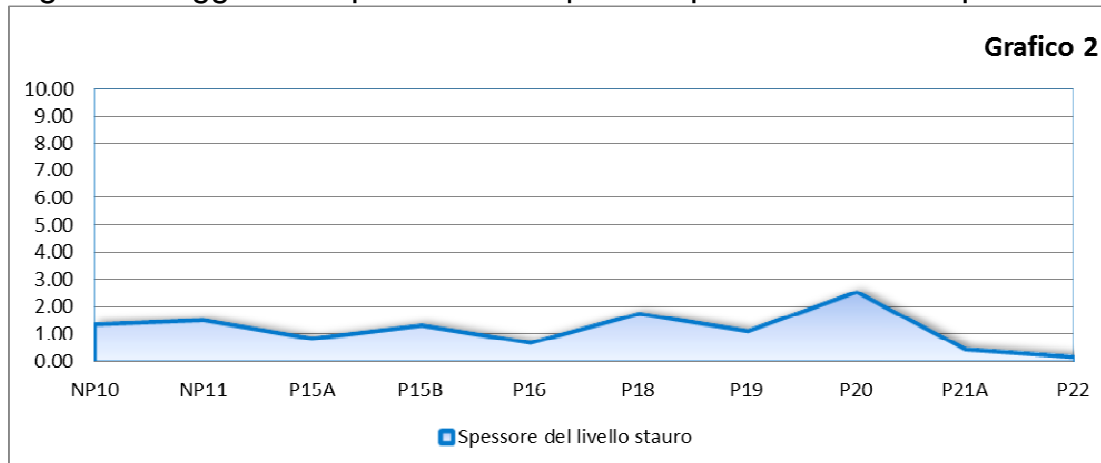
Unità idrogeologica	Litologia	Coefficiente di permeabilità (K)
Acquitardo	Limi argillosi (Unità A)	
Acquifero	Ghiaie (Unità B)	$1,8 \times 10^{-2}$ e $4,4 \times 10^{-2}$ m/sec
Acquiclide	Argille (Unità C)	10^{-9} / 10^{-10} m/sec

Per quanto riguarda la **definizione del modello idrogeologico** è stata condotta una campagna di monitoraggio dei piezometri installati. Le misure piezometriche sono state effettuate a partire dal completamento dei piezometri e successivamente alle operazioni di spurgo. Di seguito si riporta un grafico (Grafico 1) in cui sono evidenziate le quote assolute del tetto delle argille (Acquiclude - livello impermeabile) e le quote assolute della superficie piezometrica (pelo libero dell'acqua)



L'effettivo spessore di saturazione dell'acquifero è dato dalla differenza tra la quota del livello piezometrico (in blu) e la quota del tetto delle argille (in arancione). Come si evince dal grafico esistono casi (NP1, NP1bis, NP2, NP5, NP6, NP12, NP13) in cui la quota del tetto delle

argille è maggiore di quella della superficie piezometrica. In questi casi



non esiste un livello saturo nell'aquifero, in quanto l'acqua rilevata, essendo posizionata all'interno delle argille impermeabili, rimane "intrappolata" e non ha possibilità di drenare. Dall'analisi freaticometrica si evince che lo spessore del livello saturo è generalmente modesto (vedi Grafico 2 più avanti) e assume una certa rilevanza esclusivamente nell'area ad E del sito. Gli spessori maggiori si rilevano nei piezometri P19, P15B, NP10, NP11, P18, NP9, P20, dove si raggiungono spessori saturi compresi tra 1.13 e 2.54 metri. Nei piezometri NP7, P22, P21A, NP4, P16, P15A, NP3 lo spessore del livello saturo è inferiore ad un metro.

Alla luce delle indagini eseguite dal 2006 si può concludere che l'area della discarica è caratterizzata dalla presenza dei terrazzi alluvionali del

fiume Sangro costituiti nella parte alta da depositi prevalentemente limosi e nella parte bassa da depositi ghiaiosi. Tali depositi sono sostenuti alla base da un impermeabile (permeabilità misurata dal laboratorio $K = 9.21 \cdot 10^{-8}$ cm/s) argilloso che costituisce l'acquicluda. Nell'area, quindi, esiste un acquifero di spessore potenziale pari a 8 – 10 metri, tuttavia, detto acquifero presenta saturazioni molto variabili, infatti si passa da valori nulli a valori di pochi centimetri fino a due metri circa. In particolare gli spessori con saturazione dell'acquifero pari a zero, si trovano posizionati nella zona sud e sudovest della discarica mentre la presenza di acqua sotterranea si concentra nella zona a monte della discarica a nordovest e nord della stessa; infine è assente al di sotto della discarica, essendo la buca realizzata nelle argille, e sporadicamente presente, con lievissimi spessori, nella zona a nordest.

La ricostruzione del deflusso sotterraneo delle acque ottenuto con il metodo Spline, evidenzia le seguenti direzioni di flusso "prevalente" da SW verso NE e da W verso Est.

In relazione a quanto sopra esposto le indagini condotte lasciano presumere che il libero deflusso delle acque sotterranee sia influenzato da diversi fattori quali:

- Frequenti eterogeneità e anisotropie dell'acquifero, che provocano irregolarità nello scorrimento delle acque;
- Drenaggio artificiale che delimita l'intero bordo della discarica;
- Impermeabilizzazioni superficiali (asfalto, cementazioni, edifici, ecc..);

1.5 AZIONE SISMICA

I criteri per la caratterizzazione sismica dei terreni e per il calcolo dell'azione sismica di progetto sono dettati dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate il 14 Gennaio 2008, le quali rappresentano la normativa antisismica di base attualmente vigente in Italia.

Nel capitolo 3.2 delle suddette Norme si stabilisce che le azioni sismiche di progetto vengano definite sulla base della **“Pericolosità sismica di base”** la quale è stata stimata sull'intero territorio nazionale a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Si riporta per chiarezza la definizione di Pericolosità sismica di base: **componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area.**

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale

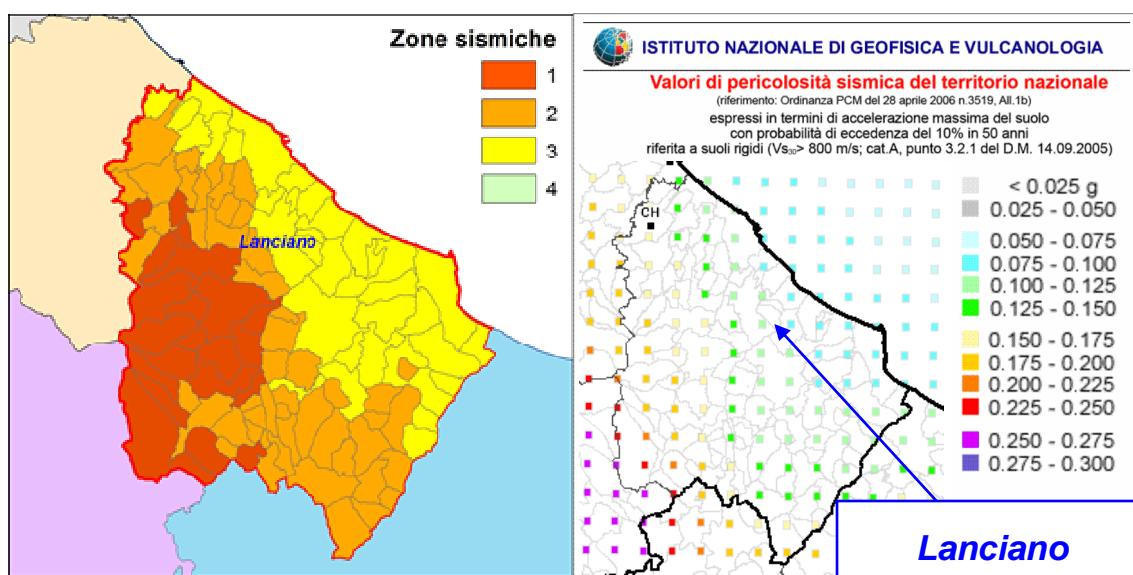
massima attesa (a_g), in condizioni di campo libero (*free field*), su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale; inoltre è valutata in termini di ampiezza dello spettro di risposta elastico corrispondente all'accelerazione attesa. Tale modello è definito sulla base delle caratteristiche sismologiche dell'area e suddivide il territorio italiano in classi di pericolosità omogenee.

L'attuale classificazione sismica, definita nell'Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, suddivide il territorio italiano in quattro classi di pericolosità, nelle quali le accelerazioni e gli effetti attesi vanno decrescendo dalla zona I fino alla IV.

<i>Zona sismica</i>	<i>Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni</i>	<i>Livello di pericolosità (INGV)</i>
1	$a_g > 0.25$	E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$	Possono verificarsi terremoti abbastanza forti
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$	Possono verificarsi modesti scuotimenti

4	$a_g \leq 0.05$	E' la meno pericolosa, la possibilità di danni sismici è bassa
---	-----------------	--

Sulla base delle analisi storiche e delle caratteristiche sismologiche dell'area viene definita la pericolosità sismica del territorio. Come si evince dalla mappa della pericolosità sismica della provincia di Chieti, il comune di LANCIANO ricade in **zona 3**; in tale area le accelerazioni orizzontali a_g , sono comprese tra **0.10 ÷ 0.150**.



Mappa della pericolosità sismica della provincia di Chieti. Mappa dei valori di pericolosità sismica della provincia di Chieti, espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50anni riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s; cat.A, punto 3.2.1 del 30 D.M. 14.09.2005)

Secondo tale modello, su tutto il territorio nazionale si è disposta una maglia di punti per ognuno dei quali è assegnato un valore di

accelerazione massima su substrato rigido a_g , un fattore di amplificazione spettrale F_0 ed un periodo caratteristico T^*c relativi all'evento sismico atteso in un dato tempo di ritorno, quest'ultimo essendo funzione della vita attesa dell'opera e della classe di utilizzo. Note le coordinate geografiche del punto di interesse, è possibile trovare i quattro punti della maglia che lo circoscrivono e ricavare le tre grandezze citate per il punto specifico.

Una volta definita la pericolosità di base, è necessario valutare la **pericolosità sismica locale**, (componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche locali) al fine di calcolare l'**azione sismica di progetto**. La normativa vigente prevede che per la definizione dell'azione sismica si possa fare riferimento ad un approccio semplificato basato sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (NTC 2008 – Cap 3.2.2, Tab 3.2 II e 3.2 III).

L'identificazione della categoria di sottosuolo deve essere effettuata sulla base dei valori della velocità equivalente ($V_{s,30}$) di propagazione delle onde di taglio (Onde S) entro i primi 30 metri di profondità. Tuttavia, nei casi in questa non sia disponibile, la normativa prevede che la classificazione possa essere effettuata in base ai valori del

numero equivalente di colpi della prova Standard Penetration Test ($N_{SPT,30}$), nei terreni prevalentemente a grana grossa o attraverso la valutazione dei parametri geotecnici caratteristici dei terreni, in particolar modo attraverso la stima della resistenza non drenata equivalente ($c_{u,30}$), nei terreni prevalentemente a grana fina.

Per la definizione della risposta sismica locale, nel sito oggetto di intervento, è stata eseguita un'indagine sismica con metodologia MASW atta a valutare la velocità di propagazione delle onde S nei primi 30 metri di sottosuolo (V_{s30}). Nello specifico è stata realizzata una prova sismica la cui ubicazione è riportata nell'immagine seguente.



1 1' Ubicazione stendimento sismico realizzato

1.5.1 PROSPEZIONE SISMICA MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface waves) studia la propagazione delle onde superficiali dalla sorgente (shot point) ai ricevitori (geofoni) e permette di definire il profilo di velocità delle onde

di taglio (VS). Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, le quali risultano essere soggette al fenomeno della dispersione: in un mezzo stratificato, onde con diversa lunghezza d'onda si propagano con diverse velocità di fase. Tale fenomeno è dovuto al fatto che onde ad alta frequenza si propagano negli strati superficiali lenti (quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo) mentre onde a bassa frequenza si propagano negli strati profondi veloci (quindi danno informazioni sugli strati più profondi).

I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio regolare e con stratificazione parallela, per cui una limitazione alla sua applicabilità è rappresentata da strati significativamente pendenti (più di 20-30°) e topografia irregolare.

La determinazione della velocità delle onde di taglio (VS) tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) e S (26%).

I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono

una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità.

1.5.2 ACQUISIZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI

Al fine di energizzare il terreno è stato utilizzato un martello di 6 kg che, tramite un operatore, batte su una piastra metallica per generare onde sismiche. Per ogni punto di scoppio (shot point) è stata preparata nel terreno una piazzola avendo cura di asportare i primi centimetri di suolo vegetale al fine di migliorare il coupling tra la piastra ed il terreno; in questo modo si ottiene una migliore energizzazione sismica in termini di ampiezza e di spettro dell'impulso immesso, con un incremento del rapporto segnale/rumore.

I sensori utilizzati sono geofoni verticali da 4,5 Hz, infissi nel terreno ad intervalli costanti di 2 metri e collegati tramite cavi sismici multipolari all'unità di acquisizione dati; quest'ultima è costituita da un sismografo, modello DoReMi-12ch della ditta SARA, collegato ad un notebook.

Eseguito il posizionamento dei geofoni sul terreno, collegati questi tramite morsetti bipolari ai cavi elettrici e questi ultimi al sismografo, sono stati realizzati alcuni shots di prova allo scopo di tarare i parametri di acquisizione del sismografo in termini di determinazione del livello del

rumore di fondo ed impostazione delle amplificazioni dei canali di registrazione. Effettuata la taratura della strumentazione, si è proceduto all'acquisizione sismica effettuando delle energizzazioni all'inizio ed alla fine dello stendimento utilizzando degli offset di scoppio pari a 2 e 3 volte la distanza intergeofonica.

STENDIMENTI MASW					
Stendimento	Geofoni	Distanza intergeofonica	Offset scoppio	Lunghezza stendimento più scoppio	Shot
1 – 1'	12	2.0 metri	4 /6.0 metri	24	2

L'istante di tempo zero, ovvero il segnale d'inizio registrazione, è stato inviato allo strumento tramite un sensor shock montato direttamente sull'energizzatore (martello).

Si riporta di seguito la foto (n° 3) dello stendimento MASW eseguito

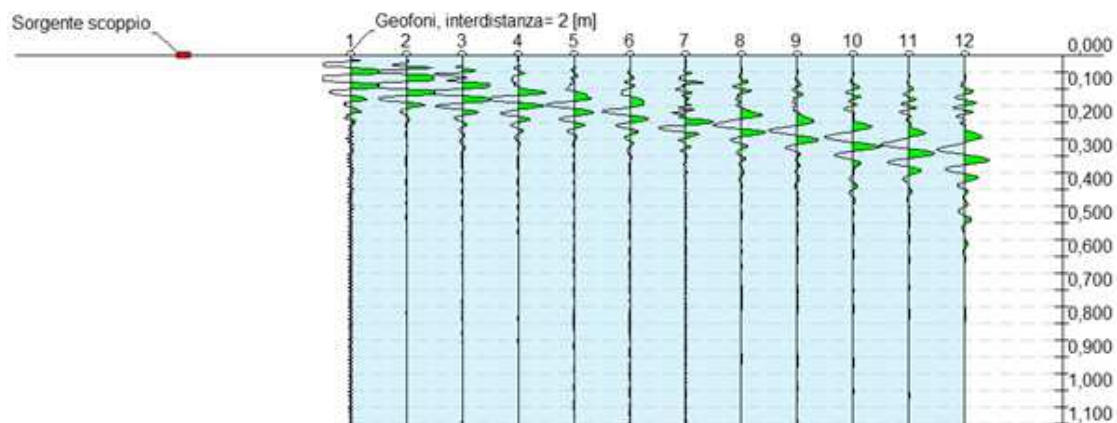


Foto: ubicazione stendimento Masw nell'ammasso rifiuti

I sismogrammi acquisiti sono stati, in primo luogo, sottoposti ad una fase di processing digitale (stacking, dc remove, cuttings, trace killing), al fine di ridurre i rumori di fondo e strumentali dai sismogrammi, aumentando il rapporto segnale/rumore ed esaltando le onde di

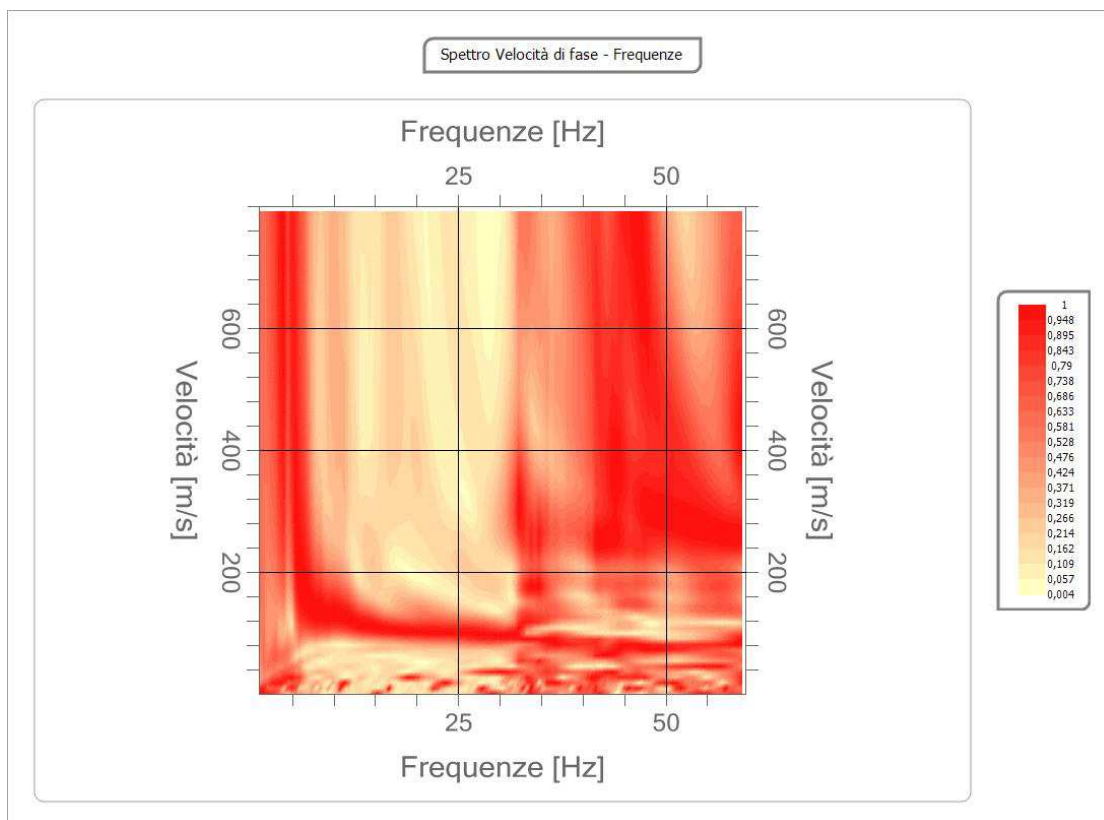
superficie.

Si riportano di seguito i sismogrammi utilizzati per il calcolo della curva di dispersione.



Successivamente si è passati alla fase d'interpretazione consistente, inizialmente, nell'analisi spettrale dei sismogrammi ed estrazione della curva di dispersione mediante picking nel dominio FK e FV.

I risultati e l'elaborazione della prova eseguita sono riportati nelle immagini seguenti.



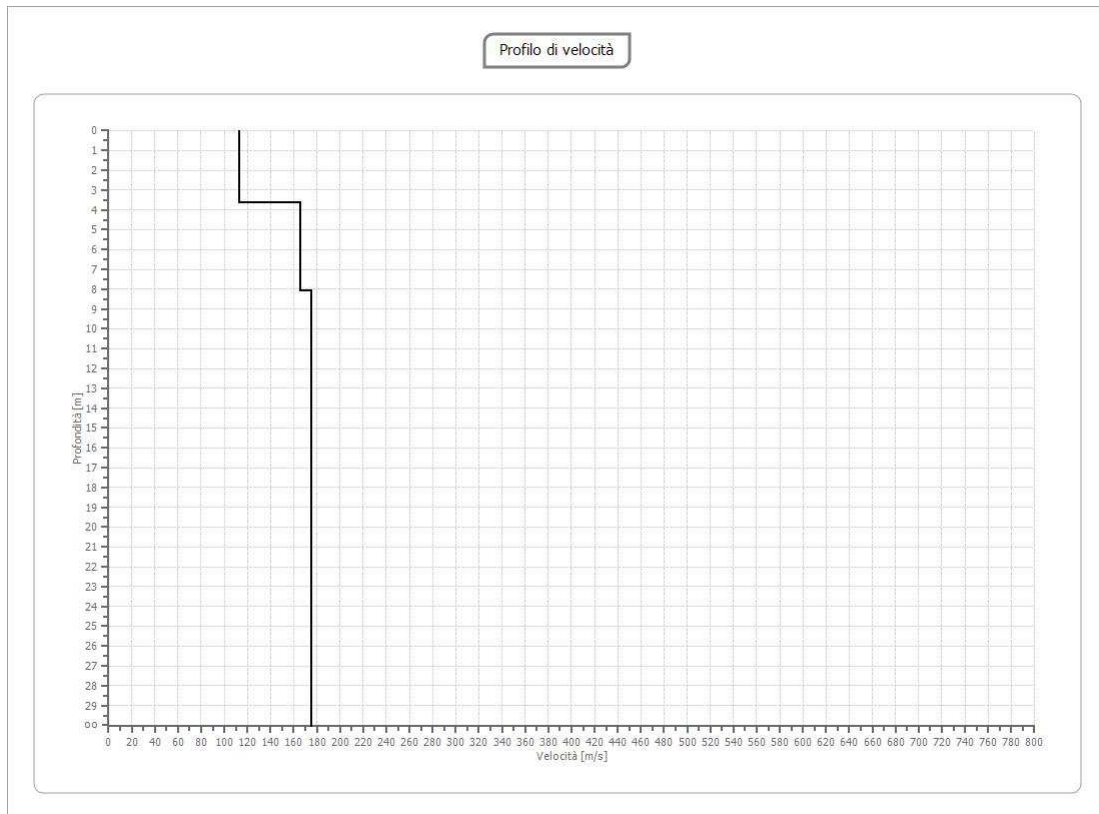
Successivamente, attraverso un metodo d'inversione iterativa, si è arrivati alla definizione di un profilo di VS ottimale, per il quale si ha la migliore corrispondenza tra curva di dispersione calcolata e misurata.

L'analisi delle velocità di propagazione delle onde sismiche ha permesso di definire lo spessore dei diversi sismostrati dai quali, anche grazie alle indagini effettuate in precedenza, è stato possibile ottenere informazioni circa la natura litologica degli stessi ed il loro stato di rilassatezza e/o di allentamento.

In definitiva l'indagine eseguita ha permesso di discretizzare il sottosuolo in **tre sismostrati** caratterizzati ognuno da una diversa velocità di propagazione delle onde sismiche di tipo S (V_s).

Schema riassuntivo indagine MASW			
SISMOSTRATI	PROFONDITA' (m.)	SPESSORE (m.)	V_s (m/s)
1	3,61	3,61	112,8
2	8,07	4,46	165,3
3	oo	oo	175,4

Profilo di velocità delle onde di taglio entro i primi 30 metri di sottosuolo



In base alla velocità degli strati riconosciuti è stato definito il parametro Vs30 secondo la seguente relazione:

$$V_{s30} = 30 / [\sum h_i / V_i]$$

dove h_i e V_i rappresentano lo spessore e la velocità sismica dello strato i -esimo. Nel sito in esame il parametro Vs30, definito all'interno dell'ammasso dei rifiuti, grazie all'indagine sismica eseguita, risulta essere: **Vs30= 163 m/s**, corrispondente alla “categoria D”.

1.5.3 DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DEL SUBSTRATO DELLA DISCARICA

La determinazione del parametro V_{s30} e la conoscenza del modello geologico permettono di arrivare a definire l'azione sismica a livello locale secondo l'approccio descritto nei paragrafi precedenti.

La prova sismica sopra riportata, è stata eseguita per caratterizzare le velocità delle onde di taglio (V_s) all'interno dell'ammasso dei rifiuti, infatti i risultati ottenuti, ovvero una velocità all'interno quasi omogenea (variabile da circa 130 a 163 m/s), sono del tutto compatibili con il tipo di materiale caratterizzato (rifiuti).

Per la caratterizzazione sismica del substrato geologico, costituito dalle argille grigio-azzurre, sul quale poggiano la discarica ed i pozzi di percolato, si è fatto riferimento sia ad uno stendimento sismico realizzato a poca distanza dal sito, sia a valori di coesione delle argille ottenuti da indagini pregresse esistenti (prove in situ e di laboratorio).

In particolare alla luce dei risultati delle indagini pregresse ed in base alle caratteristiche litostratigrafiche, il substrato geologico della discarica può essere classificato come **Categoria B**.

Sulla base di tale parametro possono essere calcolati tutti i coefficienti necessari alla progettazione di un'opera. A tal fine la norma introduce i

parametri S_s , moltiplicativo della accelerazione su substrato rigido, e C_c moltiplicativo del periodo caratteristico, in funzione della rigidità del terreno stesso, calcolabili secondo le indicazioni riportate in Tabella 1.

Tabella 1: Classificazione dei terreni in funzione della risposta sismica

Categorie di suolo di fondazione		V_{S30} (m/s)	Parametri geotecnici di riferimento	Coefficiente S_s	Coefficiente C_c
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m	> 800		1.00	1.00
B	Depositi di sabbie e ghiaie molto addensate o di argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri	360 - 800	$N_{SPT} > 50$ $c_u > 250$ kPa	$1.00 \leq 1.40 - 0.4 \cdot F_0 \cdot a_g \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_c^*)^{-0.2}$
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza	180 - 360	$15 < N_{SPT} < 50$ $70 < c_u < 250$ kPa	$1.00 \leq 1.40 - 0.4 \cdot F_0 \cdot a_g \leq 1.20$	$1.05 \cdot (T_c^*)^{-0.33}$
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti	< 180	$N_{SPT} < 15$ $c_u < 70$ kPa	$1.00 \leq 1.40 - 0.4 \cdot F_0 \cdot a_g \leq 1.20$	$1.25 \cdot (T_c^*)^{-0.5}$
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali con spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su un substrato di materiale più rigido (con $V_{S30} > 800$ m/s)	Valori simili ai terreni di tipo C o D		$1.00 \leq 1.40 - 0.4 \cdot F_0 \cdot a_g \leq 1.20$	$1.15 \cdot (T_c^*)^{-0.4}$

Inoltre, in base alla categoria di terreno, la normativa fornisce un ulteriore coefficiente riduttivo della accelerazione di riferimento a_g , valutabile secondo la Tabella 2.

Tabella 2: Classificazione dei terreni in funzione della risposta sismica

	Categorie di suolo di fondazione	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g (g) \leq 0.4$	0.3	0.28
$0.1 < a_g (g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g (g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni introducono ulteriori fattori moltiplicativi dell'azione sismica da utilizzare nel caso di topografia non pianeggiante. La normativa individua delle categorie topografiche che tengono conto della pendenza e della conformazione del versante. Dall'analisi della morfologia dell'area si evince che la categoria topografica (morfologia terreno) da considerare è la seguente:

Categoria T1 (Pendii con inclinazione media $< 15^\circ$).

1.6 STIMA DELLE CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI DEPOSITI

Dal punto di vista litologico il sottosuolo esterno al corpo rifiuti è stato schematizzato in tre unità e per la stima dei parametri geotecnici sono stati utilizzati dati provenienti da indagini pregresse realizzate nel sito consistiti in:

- Sondaggi a rotazione e carotaggio continuo;
- Prove geotecniche in foro quali SPT e poket penetrometer;

- Prove geo-meccaniche di laboratorio.

In particolare le tre unità principali sono rappresentate dalle argille grigio-azzurre di origine marina e dai depositi alluvionali; quest'ultimi, a loro volta, possono essere distinti in due ulteriori unità, ovvero una ghiaiosa, presente alla base del deposito, ed una limosa caratteristica della parte alta della formazione:

- **Limi (Unità A)**

Unità costituita da depositi limoso-sabbiosi e limoso-argillosi di natura alluvionale con presenza di livelli a maggiore tenore sabbioso.

- **Ghiaie (Unità B)**

L'unità è costituita da ghiaie in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa. I clasti sono eterometrici con dimensioni massime nell'ordine del decimetro e si presentano ben arrotondati.

- **Argille grigio-azzurre (Unità C)**

Questi litotipi sono costituiti da argille ed argille marnose molto compatte, con un colore variabile dal grigio all'azzurrognolo.

All'interno della discarica troviamo l'ammasso dei rifiuti.

Per la caratterizzazione dell'ammasso dei rifiuti sono stati utilizzati sia dati esistenti in letteratura sia dati provenienti da risultati di prove di laboratorio (prove triassiali) eseguite su una discarica di rifiuti non pericolosi (stessa tipologia della discarica oggetto di studio), sviluppata dalla Società E&G srl di Roma;

Strato	c (kg/cm²)	Cu	Fi (°)	Gs (Kg/m³)	Litologia
1	0.17	0	25	1850	Pacchetto di chiusura
2	0.05	0.3	21	1000	Rifiuti
3	0.015	0.8	27	1900	Limi
4	0	0	35	2000	Ghiaia
5	0.37	1.5	27	2100	Argille grigio- azzurre

c: coesione; Cu: coesione non drenata Fi: Angolo di attrito; Gs: Peso Specifico Saturo

1.7 CONCLUSIONI

In base a quanto scritto nei paragrafi precedenti possiamo concludere che nell'area di pertinenza della discarica consortile di Cerratina sono presenti terreni prevalentemente limosi a media permeabilità nella parte alta, sovrastanti a terreni ghiaiosi permeabili (acquifero) e terreni argillosi impermeabili nella parte bassa (acquioclude).

Nel sito della discarica (anno 2013) è stata realizzata la messa in sicurezza operativa/bonifica ai sensi dell'allegato 2 alla parte IV – titolo V del 152/06, consistita nella realizzazione di due barriere idrauliche (n. 17 pozzi) ad oggi ancora attiva.

Si resta a disposizione per eventuali chiarimenti

Lanciano, settembre 2015